



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES



DEPARTEMENT DE CHIMIE MINERALE ET CHIMIE PHYSIQUE

OPTION : CHIMIE MINERALE

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDES
APPROFONDIES (D.E.A.)**

Présenté par : RASOLOARIMANANA Clément Jurias

VALORISATION D'UNE PLANTE AQUATIQUE :
LA JACINTHE D'EAU



Soutenu le: 05 Avril 2013

- Président** : Monsieur RAZANAMPARANY Bruno
Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo
- Rapporteur** : Monsieur ANDRIANAINARIVELO Mahandrimanana
Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo
- Examineurs** : - Madame RAVAOMANARIVO Harimisa
Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo
- Monsieur RABESIAKA Mihasina
Maître de conférences - HDR

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Etudes
Approfondies**

Département : CHIMIE MINERALE ET CHIMIE PHYSIQUE

Option : CHIMIE MINERALE

Présenté par : RASOLOARIMANANA Clément Jurias

VALORISATION D'UNE PLANTE AQUATIQUE : LA JACINTHE D'EAU

Président : Monsieur RAZANAMPARANY Bruno
Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

Rapporteur : Monsieur ANDRIANAINARIVELO Mahandrimanana
Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

Examineurs : Madame RAVAOMANARIVO Harimisa
Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

Monsieur RABESIAKA Mihasina
Maître de conférences - HDR

REMERCIEMENTS

Nous remercions Le Seigneur Tout Puissant qui m’a guidé tout au long de mes travaux et qui me fortifie à tout instant et en tout lieu, je dis merci et glorifie son nom.

Ce mémoire n’aurait vu le jour sans le concours de certaines personnes qui de près ou de loin ont su apporter au moment propice leurs contributions. Je ne pourrai pas les citer toutes. Toutefois qu’il me soit permis de nommer :

✚ Monsieur ANDRIANAINARIVELO Mahandrimanana, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l’Université d’Antananarivo à qui je dois l’initiation de ce projet, pour m’avoir fait confiance et soutenu sans relâche tout au long de ce mémoire et qui a su me consacrer le temps nécessaire pour l’avancement de mes travaux malgré les difficultés de rencontre liée à la distance qui nous sépare. Son sens aigu d’analyse, sa grande expérience, ainsi que ses suggestions ont enrichi mes travaux.

✚ Monsieur RAZANAMPARANY Bruno, Professeur la Faculté des Sciences de l’Université d’Antananarivo, qui a accepté avec volonté sa désignation comme président du jury de ce mémoire.

✚ Les honorables membres du Jury, Madame RAVAOMANARIVO Harimisa, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l’Université d’Antananarivo, et Monsieur RABESIAKA Mihasina, Maître de conférences – HDR, pour l’honneur qu’ils m’ont fait de juger ce travail malgré leurs nombreuses occupations, encore une fois merci beaucoup.

Mes remerciements s’étendent à l’ensemble de mes collègues, pour toute leur amitié.

J’exprime ma plus haute considération à ma famille surtout à ma femme qui m’a toujours soutenu, moralement et financièrement au cours de mes études.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

PARTIE I : REPERE THEORIQUE

I. Généralité sur la jacinthe d'eau.....	3
I.1. Description de la jacinthe d'eau	3
I.2. Différentes parties de la jacinthe d'eau	4
I.3. Composition chimique de la jacinthe d'eau.....	5
I.4. Rôles de la jacinthe d'eau.....	8
II. Usages possibles de la jacinthe d'eau	9
II.1. La fabrication des meubles	10
II.2. La fabrication des panneaux de fibres.....	10
II.3. La confection des fils et des cordes	10
II.4. La production de biogaz.....	10
II.5. Le traitement de l'eau	11
II.6. La préparation d'engrais ou de compost	11
II.7. La fabrication des paniers	11
II.8. La fabrication de briquettes de charbon	11
II.9. La fabrication du papier	12
III. Méthodes de fabrication du papier	12
III.1. Elément constitutif nécessaire à la fabrication du papier : les fibres.....	12
III.2. Méthodes utilisées	12
III.2.1. Méthode mécanique	13
III.2.2. Méthode thermomécanique	13
III.2.3. Méthode chimique	13

PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE

I. Introduction.....	15
II. Eléments nécessaires pour la fabrication artisanale du papier.....	15
II.1. Préparation des fibres.....	15
II.2. Principe	16

II.3. Matériels.....	16
III. Procédé de fabrication.....	17
III.1. Etudes expérimentales	17
III.1.1. Premier essai : sans produits chimiques.....	19
III.1.1.1.Sans papier recyclé	19
III.1.1.2.Avec du papier recyclé	22
III.1.2. Deuxième essai : avec des produits chimiques	23
III.1.2.1. Utilisation de la chaux	23
III.1.2.2. Utilisation de l'eau de javel.....	23
III.1.2.3. Utilisation de la chaux avec l'hydroxyde de sodium.....	24
III.1.2.4. Utilisation de la chaux avec l'eau de Javel.....	25
III.1.3. Aspect de chaque produit obtenu après séchage.....	26
III.2. Réactions et mécanismes réactionnels.....	30
IV. Comparaison du papier à la jacinthe d'eau, sans papier recyclé avec le papier <i>antemoro</i>	31
V. Discussion.....	32
CONCLUSION GENERALE.....	33
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES.....	34
ANNEXE 1.....	36
ANNEXE 2.....	37
ANNEXE 3.....	39
ANNEXE 4.....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Photographie de jacinthe d'eau à tige cylindrique.....	3
Figure 2: Dessin de la jacinthe d'eau à tige arrondie	4
Figure 3: Alcool <i>para</i> -coumarilique.....	5
Figure 4: Alcool coniférylique	6
Figure 5 : Alcool sinapylique	6
Figure 6 : Exemple d'une structure de la lignine	7
Figure 7 : Structure de base des anthocyanes : ion flavylum	8
Figure 8 : Structure de l'aspartate (base conjuguée de l'acide aminé aspartique)	8
Figure 9 : Structure du malate (base conjuguée de l'acide malique)	8
Figure 10 : Structure microscopique d'une feuille de papier	12
Figure 11 : Structure de la surface d'un papier journal	12
Figure 12 : Schéma montrant les types de procédé	14
Figure 13 : Schéma des matériels utilisés	16
Figure 14 : Organigramme des étapes de l'étude expérimentale	18
Figure 15 : Photographie de la jacinthe d'eau dans les marais d'Itaoty	19
Figure 16 : Photographie des tiges de jacinthes d'eau	20
Figure 17 : Photographie de jacinthes d'eau épluchée coupée en forme de dé.....	20
Figure 18: Pesée de 5g d'une jacinthe sèche.....	21
Figure 19 : Photographie de la pâte obtenue après mixage.....	21
Figure 20 : Photographie de la pâte tamisée.....	22
Figure 21 : Photographie d'une pâte aplatie sur la feuille métallique.....	22
Figure 22: Photographie d'une presse à papier	22

Figure 23 : Photographie d'un mélange hétérogène des morceaux de papier, de la jacinthe sèche, de l'eau.	23
Figure 24 : Photographie du mixage du mélange.....	23
Figure 25 : Photographie de la jacinthe non épluchée sans papier recyclé.....	26
Figure 26: Photographie de la jacinthe non épluchée avec du papier recyclé.....	26
Figure 27: Photographie de la jacinthe non épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂	27
Figure 28 : Photographie de la jacinthe non épluchée avec 0,536 mol.L ⁻¹ de NaClO.....	27
Figure 29 : Photographie de la jacinthe non épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 1,666 mol.L ⁻¹ de NaOH	27
Figure 30 : Photographie de la jacinthe non épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 2,5 mol.L ⁻¹ de NaOH	28
Figure 31: Photographie de la jacinthe épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 1,666 mol.L ⁻¹ de NaOH	28
Figure 32 : Photographie de la jacinthe épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 2,5 mol.L ⁻¹ de NaOH	28
Figure 33: Photographie de la jacinthe non épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 0,536 mol.L ⁻¹ (50 mL) de NaClO.....	29
Figure 34: Photographie de la jacinthe non épluchée avec 0,675mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 0,536 mol.L ⁻¹ (75 mL) de NaClO.....	29
Figure 35: Photographie de la jacinthe épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 0,536 mol.L ⁻¹ (50 mL) de NaClO.....	29
Figure 36 : Photographie de la jacinthe épluchée avec 0,675 mol.L ⁻¹ de Ca(OH) ₂ et 0,536 mol.L ⁻¹ (75 mL) de NaClO.....	30
Figure 37: fibres d' «havoha » bouillies.....	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Comparaison des résultats en utilisant l'hydroxyde de sodium	24
Tableau 2 : Comparaison des résultats en utilisant l'hypochlorite de sodium	25
Tableau 3: Comparaison du papier à la jacinthe d'eau sans papier recyclé avec le papier <i>antemoro</i>	31

GLOSSAIRE

Biomasse : Dans le domaine de l'énergie, le terme de biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie. Ces matières organiques qui proviennent des plantes sont une forme de stockage de l'énergie solaire, captée et utilisée par les plantes grâce à la chlorophylle. Elles peuvent être utilisées soit directement (bois énergie) soit après une méthanisation de la matière organique (biogaz) ou de nouvelles transformations chimiques (biocarburant).

Papyrus: c'est une plante de la famille des cypéracées (plante à fleur monocotylédone des régions humides qui a une tige de forme triangulaire et des feuilles enveloppées dans une gaine) qui servait aux anciens Egyptiens à confectionner une sorte de papier.

Parchemin: peau d'animal (mouton, agneau, chèvre,...) non tannée préparée spécialement pour recevoir l'écriture ou l'impression.

Pontédériacées: c'est une famille des plantes monocotylédones. Ce sont des plantes aquatiques, plus ou moins succulentes, flottantes ou fixées par des racines dans les boues.

Tanins: ce sont des substances amorphes, extraites de plantes, utilisées principalement pour le tannage du cuir.

Anthocyanes: ce sont des matières colorantes des feuilles, des fleurs, des fruits et des racines de beaucoup de plante terrestre.

Eutrophisation : c'est l'enrichissement d'un milieu aquatique (lac ou rivage marin) en sels minéraux, entraînant une prolifération des plantes aquatiques.

Jute : C'est un arbre de 2 à 4 m de haut, à tige rigide et fibreuse.

Phenylpropanoïdes : les phénylpropanoïdes sont des composés organiques, dérivés de plantes, biosynthétisés à partir d'un acide aminé, la phénylalanine. Ils ont une grande variété de fonctions, comme la défense contre les herbivores, les attaques microbiennes.

INTRODUCTION GENERALE [12] [13]

Le papier est une invention chinoise vers la fin du III^{ème} siècle. Avant son apparition, l'homme a conservé ses écritures sur des parchemins ou des papyrus et sur toutes sortes de surface (écorces, écailles, feuilles des arbres, planchettes plus ou moins fines).

En effet, sa découverte fut un grand essor pour l'industrie papetière. Le papier devient indispensable pour l'humanité si on ne cite que la fabrication des cahiers, des livres, des calendriers, etc.

Mais pour continuer la production des papiers d'année en année, il faut plusieurs tonnes de matières premières : ce sont les bois qui sont les plus utilisés. La consommation de biomasse-énergie engendre un prélèvement de bois sur les ressources forestières dépassant plusieurs tonnes par an, dû essentiellement à la coupe de bois sur pied. Les quantités prélevées sont amenées à augmenter du fait des perspectives de substitution du bois par le charbon de bois, celui-ci nécessitant, pour sa production, des quantités de bois relativement plus importantes, à même niveau de besoin, du fait des faibles rendements de carbonisation. En outre, la production du charbon implique la concentration des prélèvements dans des zones limitées, ce qui est d'autant plus dommageable pour le capital forestier. A nos jours, les bois risquent de disparaître ; d'où la recherche de nouvelles matières premières d'une part, et d'autre part, la dégradation de la qualité de l'eau dans les lacs (par exemple : lac Marais Masay) a été un facteur déterminant de la prolifération anarchique des plantes aquatiques en général et de la jacinthe d'eau en particulier. Cette plante pourrait bouleverser l'écosystème local et semble être une contrainte majeure au développement durable et à l'amélioration des conditions de vie des populations. En effet, elle peut avoir un impact :

- sur le fonctionnement de l'écosystème :
 - La diminution de l'intensité lumineuse pour les espèces immergées sous jacentes du fait de l'augmentation de la réflexion des rayons incidents face au développement étagé de la plante,
 - L'altération physicochimique du milieu aquatique envahi à cause du tapis végétal dense qui bloque la diffusion de l'oxygène de l'air, causant des conditions anaérobiques directement préjudiciables pour la macrofaune et la microfaune aquatiques,

- Et l'accélération de la sédimentation des matières organiques et donc de l'eutrophisation des eaux. Cette sédimentation provoque parallèlement un envasement du milieu.
- Sur la santé :
 - Certaines espèces de larves de moustique prospèrent dans l'environnement créé par la présence de la jacinthe d'eau. Une corrélation entre la bilharziose et la jacinthe d'eau a été établie par des chercheurs,
 - Elle a un effet négatif sur la quantité et la qualité de l'eau potable. Elle empêche la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau entraînant ainsi une réduction de l'oxygénation de l'eau. Ceci conduit à la formation accrue de dioxyde de soufre, substance dégageant une mauvaise odeur et un mauvais goût de l'eau.

Il est donc urgent d'agir afin d'éviter tout éventuel catastrophe. Le double rôle joué par l'utilisation de la jacinthe d'eau, c'est-à-dire la préservation de la forêt et la conservation de l'écosystème nous a incité à « valoriser une plante aquatique : la jacinthe d'eau » dans lequel nous allons montrer une des applications pratique de la jacinthe d'eau.

La jacinthe d'eau est une espèce végétale comme le bois contenant la matière de base de la fabrication du papier. Elle se développe très rapidement et prolifère dans toute l'espace de son entourage.

Pour mieux comprendre ce sujet, on étudiera le procédé de fabrication de papier à partir de la jacinthe d'eau. Le plan du mémoire est divisé en deux grandes parties. La première partie sera consacrée à la description de la jacinthe d'eau et aux différentes possibilités d'utilisation, principalement la fabrication de papier. La deuxième relatera des études expérimentales effectuées avec la jacinthe d'eau.

PARTIE 1 :
REPERE THEORIQUE

La jacinthe d'eau est considérée dans plusieurs pays tropicaux et semi-tropicaux comme une plante indésirable, car elle perturbe le transport fluvial, l'irrigation et les écosystèmes aquatiques. Son taux de prolifération, dans certaines circonstances, est extrêmement rapide et elle peut se propager. A Madagascar, les éleveurs utilisent cette plante pour nourrir leurs bétails.

I. Généralité sur la jacinthe d'eau

I.1. Description de la jacinthe d'eau [17]

Scientifiquement, la jacinthe d'eau porte le nom de « *Eichhornia crassipes* ». Elle appartient à la famille des Pontédériacées, c'est-à-dire une plante qui flotte à la surface de l'eau ou dans la boue. De couleur verte, la jacinthe est une plante à fleur dont les pétales peuvent être violettes ou bleues claires et la tige peut atteindre 10 cm de hauteur. Pour pouvoir pousser aisément, la jacinthe d'eau réclame une température minimale de 18°C.

En général, il existe deux variétés de jacinthe d'eau : la jacinthe d'eau à tige cylindrique (Figure 1) et la jacinthe d'eau à tige arrondie (Figure 2).



Figure 1: Photographie de jacinthe d'eau à tige cylindrique
(Source : Clément, 2013)



Figure 2: Dessin de la jacinthe d'eau à tige arrondie
(Source : wikipédia.fr, 2013)

1.2. Différentes parties de la jacinthe d'eau [7] [18]

Comme toutes les plantes, la jacinthe d'eau comprend les feuilles, les tiges, les racines, la fleur, le fruit et les graines.

- Les feuilles : la jacinthe d'eau est composée de 3 à 5 feuilles arrondies. Ces dernières se forment à l'extrémité des pétioles. De couleur verte, Les feuilles sont lisses, épaisses, et surmontées par ses longues tiges.
- Les tiges : la plante est formée de longues tiges mesurant en moyenne 1 cm à 2,5 cm de diamètre (et jusqu'à 6 cm) et 30 cm de long. Les tiges sont gonflées comme des ballons afin de servir de flotteurs. Parfois, elles sont sous forme de cylindre droit de petite section (figure 1).
- Les racines: généralement, les racines ont une couleur violette foncée et sont composées d'environ 70 racines, ce qui leur confère un aspect plumeux. Le système racinaire présente une longueur pouvant aller de 10 cm à 300 cm et constitue une partie non négligeable de la plante. Ses racines absorbent les aliments dont elle a besoin.

- La fleur: dans de bonnes conditions, c'est-à dire à température 25°C à 30°C, une magnifique fleur bleu-claire peut s'épanouir à partir du centre de la Jacinthe jusqu'à une hauteur de 20 cm. Les anthères violettes mesurent entre 1,4 mm à 2,2 mm de long.
- Le fruit: il se présente comme une capsule fine. Chaque capsule peut contenir jusqu'à 450 graines d'une taille de 1 mm de large sur 4 mm de long.
- Les graines : les graines ont une forme plutôt ovale vers la base.

1.3. Composition chimique de la jacinthe d'eau [11]

La jacinthe d'eau contient des éléments nutritifs intéressants pour les animaux. En effet, elle possède :

- Toutes les vitamines, [4] (**Liang et Lovell,1971**)
- Tous les acides aminés, [5] (**Mitsuda et al. 1978**)
- Sur une base sèche entre 12 et 35 % de protéine (à partir de l'association de ou plusieurs acides aminés) et renferme un niveau de facteurs antiphysiologiques (tanins) très bas ou presque inexistant,
- comme toutes les plantes, de la lignine. La lignine est généralement polymérisée à partir de trois monomères phénylpropanoïdes, les alcools *para*-coumarilique, coniférylique et synapylique. Ces trois monomères diffèrent par leur degré de méthoxylation des noyaux aromatiques, leurs structures sont respectivement présentées aux figures 3, 4, 5.

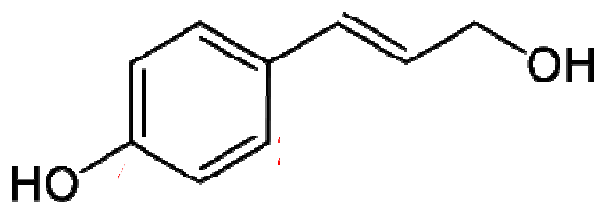


Figure 3: Alcool *para*-coumarilique¹

¹ Inforest.free.fr

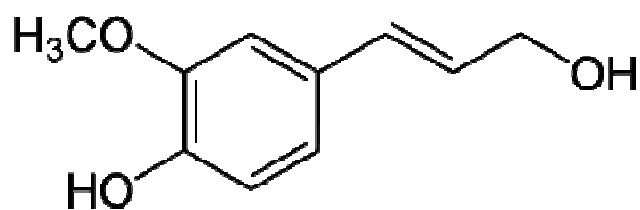


Figure 4: Alcool coniférylique²

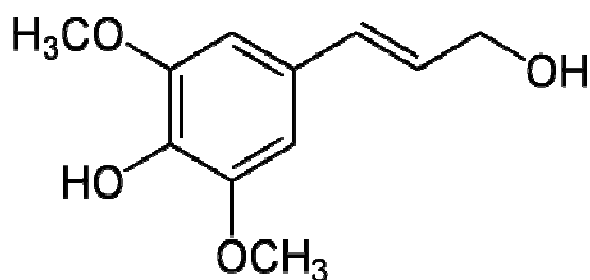


Figure 5 : Alcool sinapylique³

Comme toutes les plantes angiospermes monocotylédones, la jacinthe d'eau contient les trois types d'alcool. Tandis que pour les plantes angiospermes dicotylédones, l'alcool sinapylique est absent.

Pour de plus amples connaissances, la figure 6 présente la structure réelle de la lignine résultant de la polymérisation des alcools.

² Inforest.free.fr

³ Inforest.free.fr

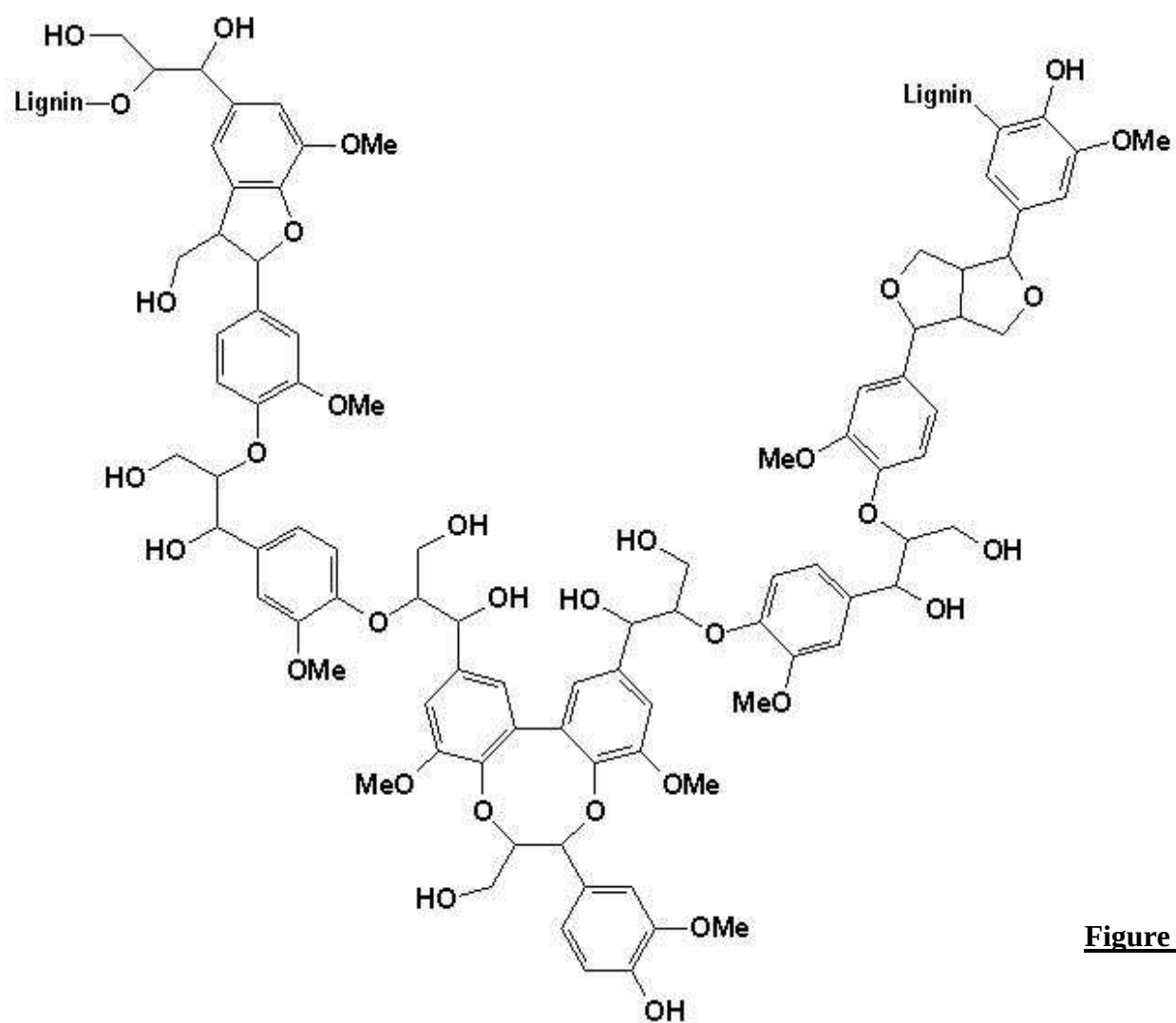


Figure 6 : Exemple d'une structure de la lignine

Chez *Eichhornia crassipes*, les racines contiennent des pigments solubles, notamment des anthocyanines, toxiques pour les herbivores.

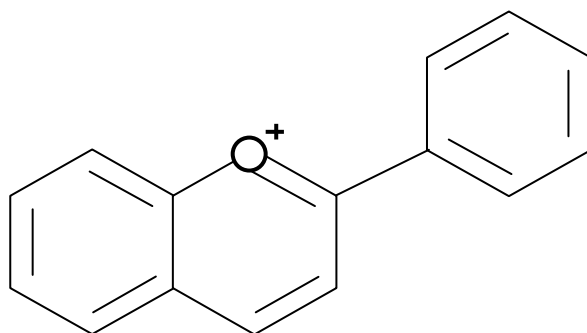


Figure 7 : Structure de base des anthocyanes : ion flavylum

1.4. Rôles de la jacinthe d'eau[12]

Bien que la jacinthe d'eau soit considérée comme une plante nuisible, elle occupe une place très importante dans la vie courante. Habituellement, elle sert à nourrir certains animaux comme les bovins, les porcins, les poissons....

Par ailleurs, on peut subdiviser ses fonctions en trois catégories :

➤ Première catégorie : la jacinthe d'eau assure la synthèse des substances organiques dans l'eau [24]

D'une part, la jacinthe d'eau est capable d'absorber le bicarbonate au niveau des tiges et des racines à la lumière et à l'obscurité pour synthétiser des acides aminés surtout de l'aspartate (figure 8), des acides organiques surtout du malate (figure 9) et des sucres pour une très faible part.

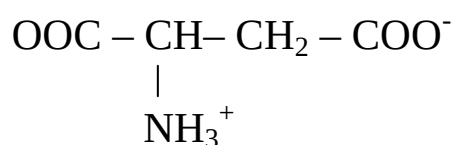


Figure 8 : Structure de l'aspartate (base conjuguée de l'acide aminé aspartique)

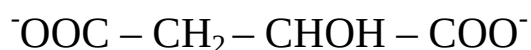


Figure 9 : Structure du malate (base conjuguée de l'acide malique)

D'autre part, la jacinthe d'eau se prête particulièrement bien à l'extraction de substances nutritives. Par exemple, 29 tonnes/ha de matière sèche de la jacinthe peuvent produire 157 kg/ha de phosphore et 693 kg/ha d'azote.

➤ Deuxième catégorie : Source énergétique

Le rôle des composés organiques synthétisés à partir du bicarbonate est de fournir une source d'énergie complémentaire à la photosynthèse.

➤ Troisième catégorie : Stabilité du pH

La jacinthe d'eau maintient la stabilité du pH de l'eau.

II. Usages possibles de la jacinthe d'eau [9]

L'extraordinaire rapidité de croissance si attirante de la jacinthe d'eau nous incite à chercher des applications industrielles. Cette plante trouve plusieurs applications étant donné sa possession de tissu fibreux si bien qu'elle soit composée de plus de 95 % d'eau. Elle peut être utilisée pour :

- La fabrication des meubles,
- La fabrication des panneaux de fibres,
- La confection des fils et des cordes,
- La production de biogaz,
- Le traitement de l'eau,
- La préparation d'engrais ou de compost,
- La confection des paniers,
- La création de briquettes de charbon.
- La fabrication de papier

II.1. La fabrication des meubles

La jacinthe d'eau est utilisée comme principal matériau pour la confection des meubles de qualité. Ses racines, bouillies et séchées, sont assemblées en cordelettes puis tressées autour d'une armature en bambou. Cet artisanat nous octroie un double avantage : non seulement il permet un ralentissement visible de l'invasion de la plante mais en outre dynamise sensiblement l'activité économique.

II.2. La fabrication des panneaux de fibres

La production des panneaux de fibres se fait comme suit : Les tiges de jacinthe d'eau hachées sont réduites par ébullition, puis lavées et battues. La pâte est blanchie. Les déchets sont par la suite mélangés avec de la pâte à papier. Un agent de filtrage, tels que le kaolin permet de filtrer les fibres à partir de ce mélange et équilibre ainsi le pH. Les panneaux sont formés dans un cadre, puis finis dans une presse à bras et suspendus pour sécher. Il en résulte des couches très épaisses des fibres à papier et sont utilisés comme des séparations ou des plafonds, etc. Ces panneaux de fibres sont très résistants.

Les propriétés physiques du panneau sont suffisamment bonnes pour l'utilisation à l'intérieur des cloisons.

II.3. La confection des fils et des cordes

Comme précédemment, ce sont les fibres de la tige de la plante qui est utilisée pour la confection de la corde. La tige de la plante est déchiquetée afin d'exposer les fibres dans le sens de la longueur. Une fois déchiquetée, on laisse sécher pendant plusieurs jours. Le processus de fabrication de la corde est similaire à celui de la corde de jute. La corde finie est traitée avec du métabisulfite de sodium pour l'empêcher de pourrir.

II.4. La production de biogaz

La jacinthe d'eau est une plante contenant des matières organiques qui peuvent devenir des sources d'énergie : la biomasse. La biomasse terrestre, majoritairement de nature lignocellulosique, contient en moyenne 40 - 60 % de cellulose, 20 – 40 % d'hémicelluloses et 10 – 25 % de lignine. Les plantes contiennent toujours de la lignine. Le gaz obtenu par la décomposition anaérobie de la jacinthe d'eau possède une valeur calorifique d'environ 5340 Kcal.m⁻³.

Par exemple, l'Inde produit des gaz allant jusqu'à 4000 litres par tonne de jacinthe d'eau semi-séchée, avec une teneur en méthane jusqu'à 64 % et 4 % d'hydrogène. La plupart des expériences ont utilisé un mélange de déchets animaux et de la jacinthe d'eau.

Un mélange de déchets animaux et de la jacinthe d'eau a été utilisé dans la plupart de ces expériences.

II.5. Le traitement de l'eau

La jacinthe d'eau est utilisée dans le traitement des eaux usées, en absorbant les métaux lourds, les nitrates et les phosphores par ses racines : c'est donc une plante dépolluante. Elle est également utilisée pour la suppression des composés organiques et d'agents pathogènes de l'eau.

II.6. Les engrais ou le compost [17]

Une fois déshydratée, la jacinthe d'eau est mélangée avec de la cendre de bois, de la terre et du fumier animal. On laisse fermenter ce mélange dans un encadrement de bambou. La température s'élèvera à plus de 60°C. En deux mois, ce matériel sera prêt à être utilisé comme compost. La décomposition microbienne décompose les matières grasses, les lipides, les protéines, les sucres et les féculents.

Le compost obtenu à partir de la jacinthe d'eau est composé d'azote (1,2 à 1,3 %), du P_2O_5 (0,7 à 0,9 %), du K_2O (3,1 à 4,9 %) et un pH de 7,9. Elle bénéficie ainsi des teneurs en NPK élevées.

II.7. La fabrication des paniers

La jacinthe d'eau sèche peut être également utilisée pour faire des paniers pour usage domestique. La clé d'un bon produit est de veiller à ce que les tiges soient bien sèches avant d'être utilisées. Si les tiges contiennent encore de l'humidité, cela peut très rapidement pourrir le produit.

II.8. La fabrication de briquettes de charbon

Etant donné l'expansion rapide du tapis de jacinthes d'eau, il est possible de développer une technologie appropriée pour la fabrication de briquettes de charbon à partir de la poussière provenant de la pyrolyse de cette plante.

II.9. La fabrication de papier [19] [20]

Nous avons vu dans la première partie que la jacinthe d'eau est un tissu fibreux et contient des matières organiques comme la cellulose utilisée pour la fabrication de papier. Dans cette étude, nous allons essayer de valoriser la jacinthe d'eau par l'utilisation de ses fibres, tel est l'objectif de cette recherche..

Les différentes méthodes de fabrication de pâtes à papier et la fabrication de papier par le procédé chimique sont abordées dans le paragraphe suivant.

III. Méthodes de fabrication du papier [1] [21] [22] [23]

III.1. Elément constitutif nécessaire à la fabrication du papier : les fibres

Le papier est une matière fabriquée à partir de fibres de celluloses végétales. Il se présente sous forme de feuilles minces et est considéré comme un matériau de base dans le domaine de l'écriture, du dessin, de l'impression, etc.

Les fibres sont des matériaux qui se présentent sous forme de filaments ou brins larges et fins. Elles peuvent être produites de manière naturelle et de manière artificielle.

On peut citer quelques types de fibre:

- les fibres artificielles ou synthétiques comme les fibres plastiques (le nylon), les fibres acryliques (polyesters), les fibres de carbone, de bore, de silicium, etc.
- Les fibres inorganiques comme les fibres de verre utilisées dans certaines applications de filtration,
- les fibres animales telles que la laine, la soie et le cuir, les fibres végétales comme le bois, le lin, le jute, le coton, les feuilles de raphia et les déchets de feuilles de tabac pour reconstituer des feuilles continues sont classés comme des fibres naturelles,

Dans la plupart des papiers à utilisation courante, les fibres végétales issues du bois, vierges ou recyclées, suffisent à construire une feuille.

Les figures 10 et 11 montrent quelques exemples de structures des fibres de papier.



Figure 10 : Structure microscopique d'une feuille de papier

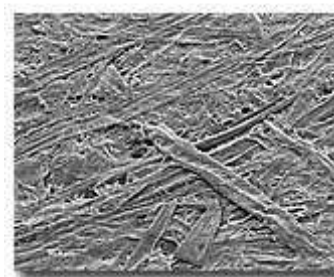


Figure 11 : Structure de la surface d'un papier journal

III.2. Méthodes utilisées [15]

la fabrication de papier proprement dite, comporte plusieurs méthodes pour l'obtention d'un meilleur rendement. Certaines d'entre elles sont sélectives et dépendent de la nature des pâtes. Pour le bois en particulier, on peut utiliser la méthode mécanique, la méthode thermomécanique et la méthode chimique à cause de la résistance de sa pâte.

III.2.1. Méthode mécanique

Les pâtes mécaniques sont obtenues en râpant les bois en rondins sur des meules arrosées d'eau ou en coupeaux entre des disques qui arrachent les fibres ou les paquets de fibres. Lorsque les coupeaux de bois sont raffinés, et que ce raffinage s'effectue en présence de vapeur à température et à pression élevées, les caractéristiques de la pâte obtenue sont différentes.

La pâte mécanique est essentiellement destinée à la fabrication de produits nécessitant moins de résistance, tels le papier journal, certains cartons.

III.2.2. Méthode thermomécanique

Cette méthode utilise le bois résineux sous forme de coupeaux. Ces coupeaux sont étuvés à la vapeur, ce qui facilite la séparation des fibres. La séparation des fibres a lieu dans une machine appelée défibreur sous pression.

III.2.3. Méthode chimique

La pâte est fabriquée en faisant cuire le bois à haute température dans des lessiveurs en présence de produits chimiques, pour dissoudre la lignine et libérer les fibres. Les pâtes chimiques sont utilisées pour la fabrication de papiers qui offrent une grande résistance mécanique. On pense notamment à la pâte " kraft " (ou " pâte au sulfate "), aux pâtes nécessaires à la fabrication des papiers d'impression et d'écriture, aux papiers à usages sanitaires et aux cartons d'emballage.

Le procédé kraft est un procédé alcalin ; la lignine est attaquée par la soude NaOH.

La figure 12 montre les rendements obtenus en fonction des méthodes utilisées.

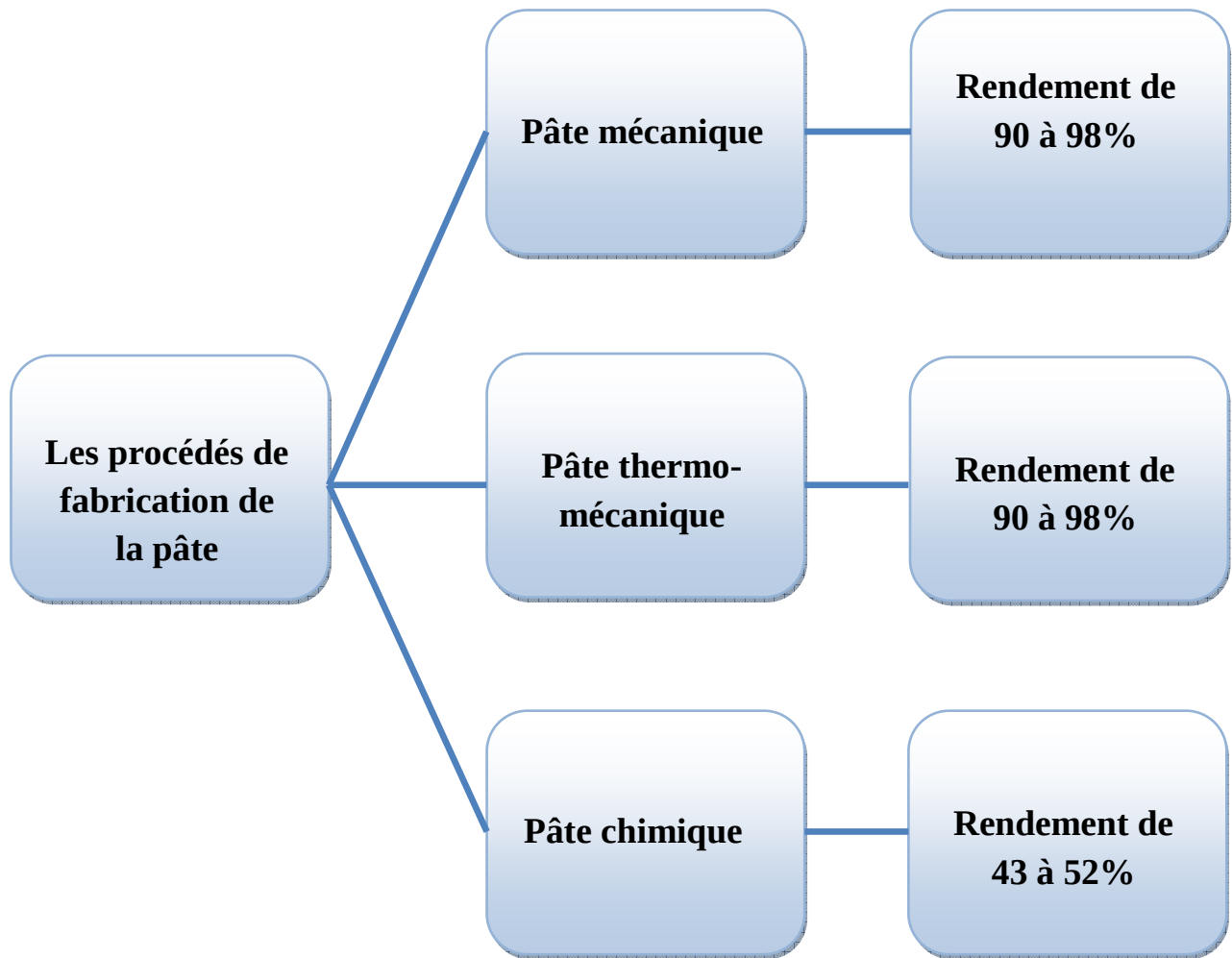


Figure 12 : Schéma montrant les types de procédé [1]

Dans cette première partie, la jacinthe d'eau est une plante aquatique qui peut vivre en flottant à la surface de l'eau. Etant donné son caractère fibreux, nous pouvons l'utiliser à quelques applications

Par la suite, dans l'étude expérimentale, nous allons démontrer que la fibre de la jacinthe d'eau mélangée avec des déchets de papier peut produire du papier en utilisant la méthode chimique.

PARTIE II :
ETUDE EXPERIMENTALE

I. Introduction

Aujourd'hui, les technologies papetières ne cessent d'évoluer, contribuant au développement de l'industrie, de la diffusion des connaissances, du conditionnement des produits de consommation.

En général, le papier est l'un des produits les plus communs de la société moderne. Il a longtemps été fabriqué à partir de fibres de chanvre, de lin, puis de coton. L'importance de sa consommation nécessite la recherche de nouvelles matières premières. C'est Keller (1840) qui a l'idée de presser les bois contre une meule pour extraire des fibres. Vu que les bois sont les principaux de fabrication des papiers, en ce moment ils coûtent chers. Dans cette étude, nous allons montrer qu'il existe d'autre alternative pour obtenir des sources de fibres comme l'utilisation de la jacinthe d'eau.

II. Les éléments nécessaires pour la fabrication artisanale du papier

Pour fabriquer des feuilles de papier, on doit avoir des fibres de cellulose en suspension dans l'eau. On peut toujours obtenir ces fibres à partir du tronc d'un arbre, mais cela prend beaucoup de temps et d'effort. Il est donc intéressant de trouver des matériaux dont les fibres sont plus faciles à extraire, tel est le cas de la jacinthe d'eau.

II.1. Préparation des fibres

Nous avons choisi le procédé alcalin pour faire cette étude. En effet, les caractéristiques de la pâte obtenue par un procédé alcalin ont une bonne résistance mécanique, un bon indice d'éclatement et de déchirure et une bonne longueur de rupture. Par contre, cette pâte sera plus difficile à blanchir qu'une pâte issue d'un procédé acide. Cette pâte peut être utilisée dans l'emballage, pour les papiers impression-écriture lorsqu'elle est blanchie, ou encore en mélange.

Le processus de base de fabrication du papier reste inchangé depuis plus de deux mille ans. Il comporte deux phases : la désintégration de la matière première dans l'eau pour obtenir une suspension de fibres individuelles et la formation de feuilles lorsque cette suspension est répandue sur une surface poreuse adaptée, à travers laquelle l'excédent d'eau peut s'égoutter.

Pour transformer la jacinthe d'eau en pâte, il faut d'abord séparer les fibres de cellulose des autres substances comme la lignine qui sert de liant et donne la solidité de l'ensemble.

Pour faire la pâte, c'est-à-dire extraire les fibres et vaisseaux cellulotiques, on détruit les liaisons entre les fibres.

II.2. Principe

Trois produits chimiques sont généralement utilisés dans la fabrication de papier artisanal :

- Les alcalis comme l'hydroxyde de sodium (NaOH) sont utilisés pour dissoudre totalement les fibres protéiniques. Les fibres peuvent être détériorées par des alcalis plus doux,
- L'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est utilisé pour séparer les fibres,
- L'eau de Javel (NaClO) est un produit de blanchissement ou d'élimination de la couleur naturelle des fibres, des fils et des tissus, de la cellulose et du papier.

II.3. Matériels

Les matériels utilisés (figure 13) lors de cette étude sont :

- Un tamis dont les mailles ont une ouverture de 1 mm pour égoutter l'eau,
- Des feuilles minces en métal afin d'aplatir la pâte,
- Une Eponge pour éliminer l'eau,
- De l'eau pour rendre fluide la pâte,
- Des feuilles de papier vélin déjà usé pour améliorer la qualité du papier,
- Un mixeur pour homogénéiser le mélange,
- Une presse papier pour éliminer l'excès d'eau et aplatir la pâte,
- Une matière première : la jacinthe d'eau.



Figure 13 : Schéma des matériels utilisés

III. Procédé de fabrication

Dans toutes les expériences, nous avons utilisé comme essai la jacinthe d'eau à tige cylindrique. Le procédé de fabrication du papier à partir de la jacinthe d'eau est très varié par rapport à d'autres procédés de fabrication utilisant des matières premières comme le bois, l'écorce d'"Havoha" (pour les papiers *antemoro*). En effet, le procédé ne demande pas des matériels sophistiqués.

III.1. Etudes expérimentales

Deux types d'essais sont effectués lors de cette étude. Le premier essai consiste à fabriquer les papiers sans produit chimique et le deuxième essai utilise des produits chimiques comme la chaux, l'hydroxyde de sodium et l'eau de javel.

Par ailleurs, les étapes sont les mêmes pour chaque essai telles que la préparation de la matière première, la fabrication de la pâte, le pressage et le séchage.

Ces étapes sont résumées dans la figure 14.

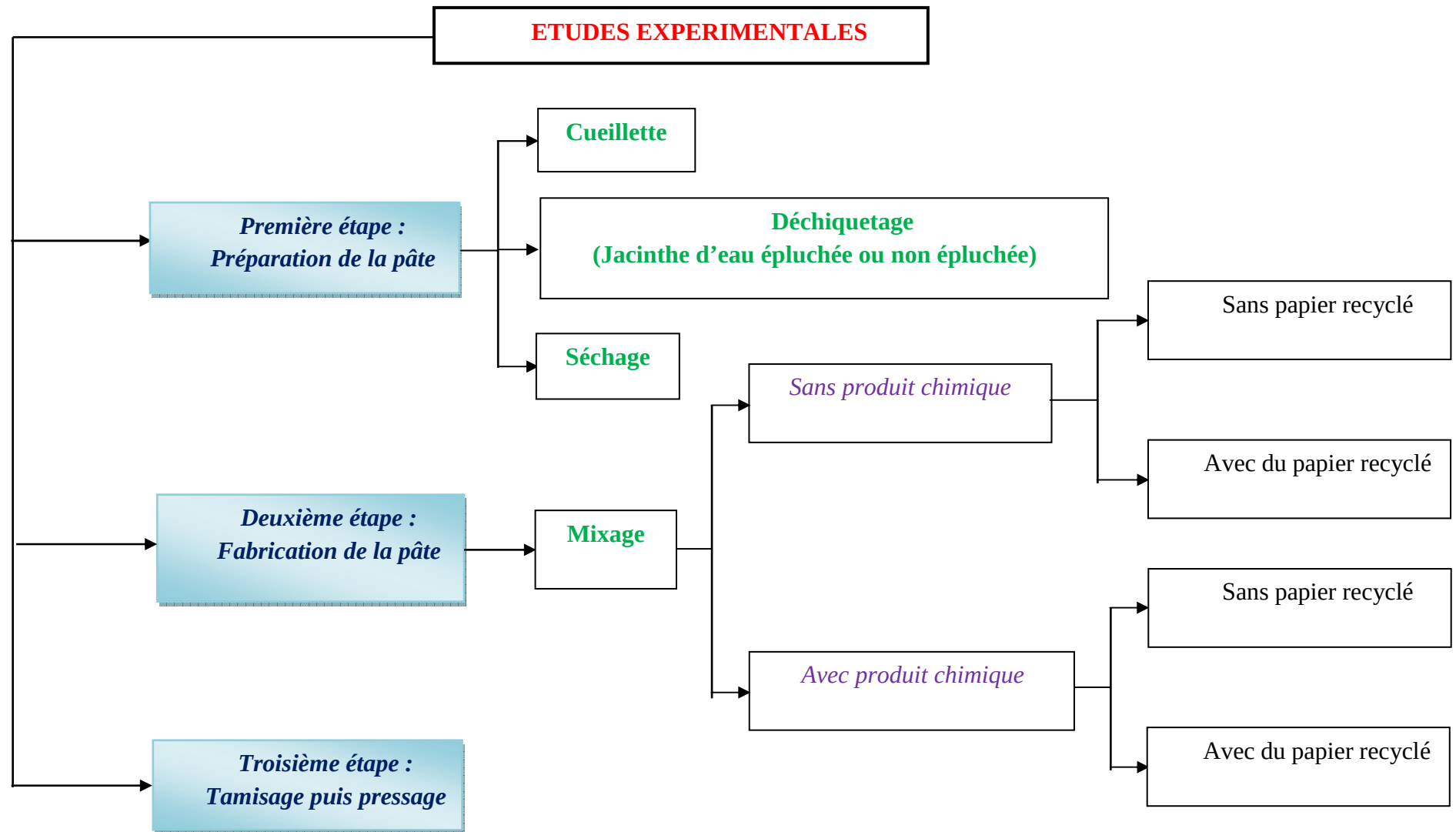


Figure 14 : Organigramme des étapes de l'étude expérimentale

III.1.1. Premier essai : sans produits chimiques

III.1.1.1. Sans papier recyclé

➤ *La première étape : préparation de la matière première*

a°) Cueillette

La jacinthe d'eau pousse dans certaine partie de la ville d'Antananarivo, notamment au Marais Masay et aussi à Itaosy, Nous avons effectué la cueillette de notre jacinthe d'eau dans les marais d'Itaosy (figure 15).



Figure 15 : Photographie de la jacinthe d'eau dans les marais d'Itaosy

La cueillette consiste à enlever toutes les parties indésirables de la jacinthe d'eau telles que les racines, les feuilles et les fleurs.



Figure 16 : Photographie des tiges de jacinthes d'eau

b°) Déchiquetage et séchage

Ses tiges sont découpées en forme de petit dé (figure 17). Ils sont mis dans une cuvette et exposés au soleil pour éliminer l'eau. . La jacinthe d'eau est considérée sèche lorsqu'elle a perdu 95 % de sa masse initiale sans tenir compte de la durée du séchage.

Notons également qu'il est possible d'éplucher la jacinthe afin d'éviter la coloration verte de la pâte.



Figure 17 : Photographie de jacinthes d'eau épluchée coupée en forme de dé

c°) Pesage

Il consiste à peser tous les produits nécessaires à la fabrication de la pâte.

L'étape du pesage consiste à peser les produits nécessaires à la fabrication de la pâte. La balance utilisée est une balance électronique, de calibre 1 g et de tolérance plus ou moins 0,5 g.

La figure 18 illustre la pesée de 5 g de jacinthe d'eau sèche.



Figure 18: Pesée de 5g d'une jacinthe sèche

➤ *Deuxième étape : fabrication de la pâte*

d°) Mixage

Pour obtenir la pâte, la jacinthe sèche découpée est mélangée avec de l'eau à l'aide d'un mixeur. On obtient ainsi une pâte de couleur verte (figure 19).



Figure 19 : Photographie de la pâte obtenue après mixage

➤ *Troisième étape : pressage*

e°) Pressage

Après l'obtention de la pâte, cette dernière est recueillie à l'aide d'un tamis (figure 20) afin d'éliminer l'eau ; on tapote la base du tamis avec une éponge.



Figure 20 : Photographie de la pâte tamisée

La pâte obtenue est ensuite répandue sur une surface d'une feuille mince en métal très lisse pour avoir une surface plane du papier ainsi formé (figure 21).

A l'air libre, la pâte est constituée un peu d'eau. Afin d'éliminer tout excès d'eau, on met l'ensemble dans une presse en bois (figure 22).



Figure 21 : Photographie d'une pâte aplatie sur la feuille métallique



Figure 22 : Photographie d'une presse à papier

III.1.1.2. Avec du papier recyclé

Les étapes sont les mêmes que précédemment sauf que dans la préparation de la pâte, il faut prendre des feuilles de papier et les déchirer dans le sens des fibres afin d'obtenir des bandes assez droites car, comme pour le tissu, il existe une sorte de « fil » qui correspond au sens de défilement des nappes de papier.

On les déchire ensuite en petits morceaux et on les met dans un récipient. La jacinthe découpée est mélangée avec ce papier recyclé (figure 23).

Enfin, on les passe au mixeur (figure 24). La couleur de la pâte s'éclaircit.

Au fur et à mesure du mixage, la pâte obtenue devient plus claire.



Figure 23 : Photographie d'un mélange hétérogène des morceaux de papier, de la jacinthe sèche, de l'eau.



Figure 24 : Photographie du mixage du mélange

III.1.2. Deuxième essai : avec de produits chimiques

Afin d'améliorer les propriétés physiques du papier, des alcalis comme l'hydroxyde de sodium et l'hypochlorite de sodium, mélangés avec de la chaux sont introduits dans le processus de fabrication de la pâte.

Sans papier recyclé

Dans ce paragraphe, nous avons effectué un mélange de jacinthe d'eau avec des produits chimiques comme la chaux, l'eau de Javel.

III.1.2.1. Utilisation de la chaux

La chaux est une solution chimique utilisée pour séparer les fibres. La concentration de la solution est de $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$. On obtient une pâte de couleur verte.

III.1.2.2. Utilisation de l'eau de Javel

La solution d'eau de Javel est une solution commerciale, de titre chlorométrique 12° c'est-à-dire de concentration $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$. Cette solution est utilisée comme agent de blanchissement.

III.1.2.3. Utilisation de la chaux avec l'hydroxyde de sodium

Les solutions aqueuses d'hydroxyde de sodium sont des solutions de base forte. Elles contiennent les ions sodium et les ions hydroxyde. Les ions sodium ne réagissent pas chimiquement. Cette technique consiste à séparer les fibres cellulosiques et à éliminer des parties de la lignine, comme indique le mécanisme réactionnel du paragraphe III.2.

Le tableau 1 ci après résume le pH de la solution obtenue ainsi que les quantités de jacinthe d'eau utilisée (épluchée ou non), des produits chimiques, du papier et le volume d'eau correspondant pour chacun des cas.

Tableau n°1: comparaison des résultats en utilisant l'hydroxyde de sodium:

	Concentration des produits (mol/L)		Volume de NaOH (mL)	Masse de la jacinthe d'eau (g)	Masse du papier (g)	Volume d'eau utilisé (mL)	pH
	Hydroxyde de calcium (Ca(OH) ₂)	Hydroxyde de sodium (NaOH)					
JACINTHE D'EAU NON EPLUCHEE	0,675	1,666	75	5	4	200	11,95
	0,675	2,5	50	5	4	200	12,42
JACINTHE D'EAU EPLUCHEE	0,675	1,666	75	5	4	200	11,54
	0,675	2,5	50	5	4	200	11,82

Ce tableau présente les résultats de l'expérience concernant la variation de la concentration de l'hydroxyde de sodium. Plus sa concentration augmente, plus le pH de la pâte augmente. Ceci est valable dans les deux cas.

Le pH de la pâte varie légèrement, c'est-à dire diminue s'il s'agit d'une jacinthe épluchée. La couleur du papier, après séchage devient de plus en plus claire en fonction de l'augmentation de la concentration du produit.

III.1.2.4. Utilisation de la chaux avec l'eau de Javel

De même que précédemment, le tableau n°2 donne la valeur du pH de la pâte obtenue en utilisant une solution d'hypochlorite de sodium

Tableau n°2: comparaison des résultats en utilisant l'hypochlorite de sodium

	Concentration des produits (mol/L)		Volume de NaClO (mL)	Masse de la jacinthe d'eau (g)	Masse du papier (g)	Volume d'eau utilisé (mL)	pH
	Hydroxyde de calcium (Ca(OH) ₂)	Hypochlorite de sodium (NaClO)					
JACINTHE D'EAU NON EPLUCHEE	0,675	0,536	50	5	4	200	11,44
	0,675	0,536	75	5	4	200	11,84
JACINTHE D'EAU EPLUCHEE	0,675	0,536	50	5	4	200	11,90
	0,675	0,536	75	5	4	200	11,91

Dans un premier temps, le pH de la solution augmente à chaque ajout de la solution d'hypochlorite de sodium.

Contrairement dans le cas de l'hydroxyde de sodium, le pH de la pâte, en utilisant de la jacinthe épluché, est plus grand.

III.1.4. Aspect de chaque produit obtenu après séchage

Une fois que les papiers sont secs, chaque feuille présente leur propre propriété. Les produits obtenus diffèrent par leur couleur.

Sans produit chimique

- a. Jacinthe non épluchée sans papier recyclé

La figure 25 représente l'aspect d'un papier à jacinthe non épluchée sans mélanger avec du papier recyclé.



Figure 25 : Photographie de la jacinthe non épluchée sans papier recyclé

- b. Jacinthe non épluchée avec du papier recyclé.

La figure 26 montre que la couleur d'un papier à jacinthe non épluchée mélangée avec du papier recyclé est plus claire qu'au papier obtenu à la figure 25.



Figure 26 : Photographie de la jacinthe non épluchée avec du papier recyclé

Avec produits chimiques

Rappelons que les produits chimiques utilisés sont l'hydroxyde de calcium, l'hydroxyde de sodium et l'eau de Javel.

c. Jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2

La figure 27 montre l'aspect du papier obtenu en utilisant l'hydroxyde de calcium.



Figure 27: Photographie de la jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2

d. Jacinthe non épluchée avec $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaClO



Figure 28 : Photographie de la jacinthe non épluchée avec $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaClO

e. Jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $1,666 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH



Figure 29 : Photographie de la jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $1,666 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH

f. Jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH



Figure 30 : Photographie de la jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH

g. Jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $1,666 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH



Figure 31: Photographie de la jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $1,666 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH

h. Jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH



Figure 32 : Photographie de la jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH

- i. Jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (50 mL) de NaClO



Figure 33: Photographie de la jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (50 mL) de NaClO

- j. Jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (75 mL) de NaClO



Figure 34: Photographie de la jacinthe non épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (75 mL) de NaClO

- k. Jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (50 mL) de NaClO



Figure 35: Photographie de la jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (50mL) de NaClO

1. Jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (75 mL) de NaClO



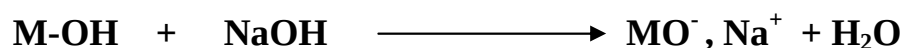
Figure 36 : Photographie de la jacinthe épluchée avec $0,675 \text{ mol.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 et $0,536 \text{ mol.L}^{-1}$ (75 mL) de NaClO

III.2. Réactions et mécanismes réactionnels

Réactions :

Deux réactions peuvent avoir lieu :

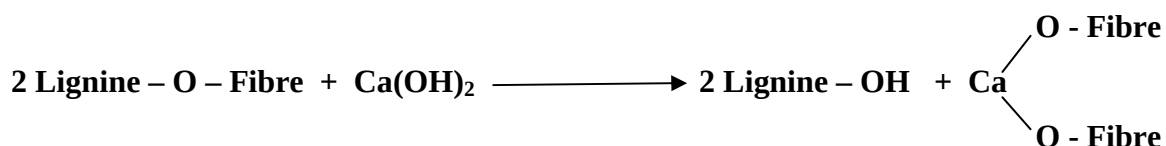
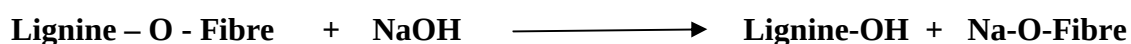
1. Sous l'action d'une base, l'alcool se transforme en alcoolate et en eau selon la réaction générale suivante :



(Alcool)

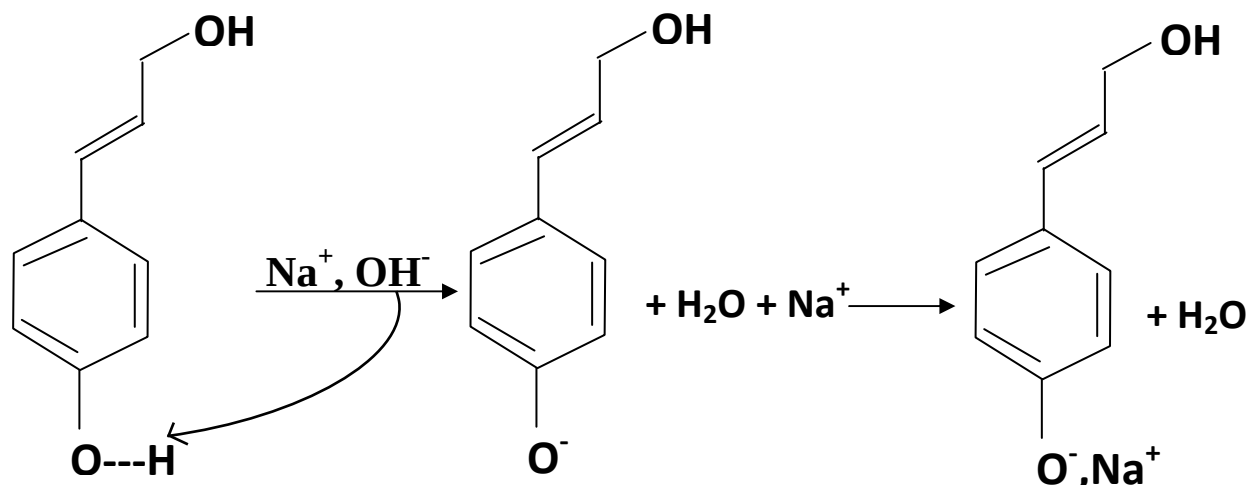
(Alcoolate de sodium)

2. La réaction de défibrillation qui consiste à désagréger la lignine sous l'action d'une base forte ou douce :



Mécanisme réactionnel :

La base arrache l'hydrogène de l'alcool en position para.



IV. Comparaison du papier à la jacinthe d'eau sans papier recyclé avec le papier « *antemoro* »

	Papier fait à la jacinthe d'eau	Papier antemoro
Matières premières	Jacinthe d'eau	Ecorce d'havoha
Procédé de fabrication	➤ D'abord on découpe les tiges de la jacinthe d'eau et on les mélange avec de l'eau. ➤ Ensuite, on mixe la jacinthe obtenue ➤ Puis, on passe le mélange sur un tamis pour égoutter l'eau puis on presse pour enlever l'excès d'eau. ➤ Enfin, on laisse sécher au soleil.	➤ D'abord, on fait bouillir les fibres d'Havoha une journée entière. ➤ Ensuite, on démêle les fibres et on les écrase dans un pilon. ➤ Puis, on mélange les fibres pilées avec de l'eau et on répartit le mélange sur les toiles tendues sur des cadres en bois en laissant le cadre à l'ombre. ➤ Enfin, on laisse sécher au soleil.
Aspect	Rugueux ou lisse	Granuleux
Couleur	Vert	Blanc
Résistance	Moins résistant	Résistant

A partir de ce tableau, nous pouvons déduire que la façon de production des deux produits est un peu identique.

La différence entre leur aspect résulte de la nature de la matière première; pour la jacinthe d'eau la pâte est mole et est de la forme boueuse. Concernant le papier *antemoro*, la grande résistance de l'écorce d' «havoha » est considérable.



Figure 37: fibres d' «havoha » bouillies

V. Discussion

Cette étude vise à valoriser la jacinthe d'eau pour la fabrication de papier par la méthode chimique. Pour cela nous avons utilisé plusieurs méthodes notamment l'utilisation de bases fortes telles que la NaOH, la $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mais aussi le NaOCl pour la délignification. D'après les expériences, au fur et à mesure qu'on augmente la concentration en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ avec les jacinthes non épluchées, on constate une variation de couleur de l'échantillon et une variation de sa consistance. En effet, la pâte s'éclaircit lorsque la concentration augmente puisqu'on écarte les fibres les unes des autres. Il faut noter que les fibres sont composées majoritairement de carbone d'où ses couleurs foncées lorsqu'elles sont proches les unes des autres. Cette différence est également constaté lorsqu'on utilise du NaOH et du $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Dans le cas des jacinthes épluchées, ce changement est plus accentué car on attaque les fibres molles, on obtient donc des pâtes beaucoup plus claires. Dans le cas où on ajoute du NaOCl la pâte est nettement claire. En effet, le NaOCl a la propriété de blanchir la pâte. L'effet de blanchiment est beaucoup plus important par rapport à l'ajout de bases fortes seules.

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire de fin d'études montre une nouvelle application artisanale et même industrielle de la jacinthe d'eau grâce à son abondance dans les marais et sa multiplication invasive du jour au lendemain.

Cette application s'agit de valoriser la plante comme l'étude de fabrication de papier. Pour cela, le procédé a été réalisé à partir des expériences en utilisant la méthode chimique.

Or, plusieurs méthodes existent pour cette fabrication, mais les produits sont à moindre trace ou plus valeureux.

En effet, l'emploi des produits chimiques dans cette méthode, à savoir le mélange d'hydroxyde de calcium et l'hydroxyde de sodium ou le mélange d'hydroxyde de calcium et l'hypochlorite de sodium, contribue à l'amélioration de la qualité du papier obtenu surtout au niveau de la couleur de la pâte après le mixage. Il est à noter que les jacinthes d'eau sont d'une partie épluchées et d'autre partie non épluchées.

Du point de vu environnemental, la vitesse très importante de croissance des jacinthes d'eau présente des intérêts et aussi des conséquences néfastes :

- d'une part elle entraine une grande assimilation de la pollution de l'eau à partir de la filtration des matières organiques par les racines des plantes,
- et d'autre part elle devient un lieu d'implantation des insectes.

Economiquement, le papier fait à partir de la jacinthe entre en compétition avec certain produit au marché, à considérer pour les papiers antemoro.

Dans une perspective à venir, on pourrait exploiter la jacinthe d'eau comme agent dépolluant des eaux usées étant donné ces pouvoirs qui absorbent certains métaux lourds, les nitrates et les phosphores.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Rado Andry, R. Amélioration du procédé de fabrication de pâte en bois. Physique-Chimie- Chimie Minérale. Université d'Antananarivo.2008 ; 47pages.
- [2] Bill Aldridge, M.S, Craig kramer, M. A. Science interactions, course 2. McGraw-Hill. 1995. 680pages.
- [3] Sitrano ny tontolo. Production du Ministère de l'Environnement et des Forêts (MEF). Janvier- Mars 2010.
- [4] Liang, J.K. and Lovell, R.T. Nutritional Value of Water Hyacinth in Channel Catfish Feeds. Hyacinth Control Journal, 1971.
- [5] Mitsuda, H., Higuchi, M., Shirai, K. and Yamamoto, A. Protein Concentrate from Water Hyacinth and Its Amino Acid Composition. Journal of Japanese Society of Food and Nutrition, 1978.
- [6] Lareo, L. and Bressani, R. Possible utilization of water hyacinth in nutrition and industry. Food and Nutrition Bulletin, 1982.
- [7] Le Bourgeois T. Expertise sur la gestion des plantes aquatiques envahissantes. *Eichhornia Crassipes* (jacinthe d'eau). Commande DEE/ Service ENS n°X002878. Cirad. Saint Pierre, Reunion. 2006.

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- [8] La jacinthe d'eau. < fr.wikipedia.org/wiki/Jacinthe_d'eau >.Consulté le 20 Août 2012.
- [9] Utilisations possibles de la jacinthe d'eau. < [.fr.howtopedia.org/wiki](http://fr.howtopedia.org/wiki)>. Consulté le 21 Août 2012.
- [10] Fabriquer et Recycler du papier chez soi.
<<http://membres.lycos.fr/nico911/papier.html>>. Consulté le 21 Novembre 2012.
- [11] Les compositions chimiques du bois. <Inforest.free .fr>. Consulté le 15 Octobre 2012.
- [12] Histoire du papier. <cerig.efpg.inpg.fr/dossier/papier-materiau/page01.htm>. Consulté le 24 Septembre 2012.
- [13] Histoire du papier. <fr.wikipedia.org/wiki/Papier>. Consulté le 24 Septembre 2012.

- [14]** Histoire du papier. <www.funsci.com/fun3_fr/papier/papier.htm>. Consulté le 24 Septembre 2012.
- [15]** Pâte mécanique. <<http://fr.wikipedia.org/wiki/fichier>>. Consulté le 11 Octobre 2012.
- [16]** Absorption du bicarbonate par la jacinthe d'eau. <<http://www.sudoc.fr/007496389>>. Consulté le 24 Août 2012.
- [17]** Définition de la jacinthe d'eau. <<http://www.aquaportail.com/definition-5509-jacinthe-d-eau.html#ixzz24TIbyNzs>>. Consulté le 24 Août 2012.
- [18]** Feuille. <eee.plantnet-project.org/showbyaccno.php?acno=EICCR>. Consulté le 14 Septembre 2012.
- [19]** Les différentes étapes de la fabrication des papiers. <www.planete-echo.net>. Consulté le 10 Octobre 2012.
- [20]** Fabriquer du papier. <www.gralon.net>. Consulté le 11Août 2012.
- [21]** Fibres de papier.
<[www.reptox.csst.qc.ca/produit.asp?no_produit=1624129&nom=Cellulose+\(fibres+de+papier\)](http://www.reptox.csst.qc.ca/produit.asp?no_produit=1624129&nom=Cellulose+(fibres+de+papier))>. Consulté le 16 Novembre 2012.
- [22]** Structure microscopique des fibres. <fr.wikipedia.org/wiki/Papier>. Consulté le 13 Septembre 2012.
- [23]** Fibre papier journal. <cerig.efpg.inpg.fr/dossier/papier-materiau/page02.htm>. Consulté le 13 Septembre 2012.
- [24]** Fibre textile. <fr.wikipedia.org/wiki/fibre_textile>. Consulté le 30 septembre 2012.

Annexe 1 : Préparation de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH).

1. Propriété de l'hydroxyde de sodium

✓ L'hydroxyde de sodium pur est un solide à l'aspect blanc, appelé soude dans le langage courant. L'étude aux rayons X du solide indique la présence d'ions sodium Na^+ et d'ions OH^- dans le cristal. La neutralité électrique est ainsi respectée.

✓ Des pastilles d'hydroxyde de sodium, laissés à l'air libre, deviennent humides, quelques instants plus tard. On dit alors que l'hydroxyde de sodium est déliquescent. L'hydroxyde de sodium absorbe l'humidité de l'air, il est très avide d'eau. Après quelques heures les pastilles disparaissent, il n'y a plus qu'un liquide. Il s'est formé une solution très concentrée d'hydroxyde de sodium.

2. Préparation de la solution d'hydroxyde de sodium

a) De concentration $1,66\text{mol.L}^{-1}$

La masse de pastille de soude utilisée est égale à 5g, ajouté d'un volume d'eau de 75mL.

La relation entre la masse et le volume avec la concentration est donnée par :

$$C = \frac{m}{M.V}$$

La masse molaire de l'hydroxyde de sodium est $M = 40\text{g/mol}$.

$$\text{Ce rapport devient : } C = \frac{5}{40.75.10^{-3}}$$

$$\text{D'où } C = 1,66\text{mol.L}^{-1}$$

b) De concentration $2,5\text{mol.L}^{-1}$

Les étapes de calcul sont les mêmes. Le volume d'eau utilisé est 50mL.

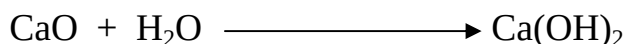
$$\text{Alors } C = \frac{5}{40.50.10^{-3}}$$

$$\text{D'où } C = 2,5\text{mol.L}^{-1}$$

Annexe 2 : Préparation de la solution d'hydroxyde de calcium.

1. Propriétés physiques et chimiques de l'hydroxyde de calcium

À l'air froid et sec, le calcium est difficilement attaqué par l'oxygène mais, une fois chauffé, il réagit violemment avec les halogènes, l'oxygène, le soufre, le phosphore, l'hydrogène et l'azote. Chauffé en présence d'oxygène, le calcium brûle avec une flamme brillante et donne la chaux vive (CaO). Il réagit également violemment avec l'eau, formant l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂) et dégageant de l'hydrogène.



Chaux vive

Chaux éteinte

Le tableau suivant présente quelques propriétés physico- chimique de l'hydroxyde de calcium :

Nom	Hydroxyde de calcium Chaux éteinte Chaux hydratée
Formule chimique	Ca(OH) ₂
Aspect	Poudre blanche
Odeur	sans
Point de fusion	580°C
Point d'ébullition	2850°C
Solubilité dans l'eau	1,85g/L à 0°C , 1,65g/L à 20°C , 0,71g/L à 100°C
Masse volumique	2,84g/cm ⁻³
pH	12,4 à 25°C en solution saturée

2. Préparation d'une solution d'hydroxyde de calcium de concentration

0,675mol.L⁻¹

Cette solution est préparée à partir d'une poudre de 5g d'hydroxyde de calcium, introduite dans 100mL d'eau.

La masse molaire de l'hydroxyde de calcium vaut 74g/mol.

Le calcul de concentration devient :

$$C = \frac{5}{74 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}$$

D'où $C = 0,675 \text{ mol.L}^{-1}$

Annexe 3: Préparation d'une solution d'hypochlorite de sodium

1. Propriétés physiques et chimiques de la solution

L'hypochlorite de sodium appelé aussi encore « Eau de Javel » est une solution aqueuse équimolaire de chlorure de sodium $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ (soluté inactif) et d'hypochlorite de sodium $\text{Na}^+ + \text{ClO}^-$.

Par leur pouvoir désinfectant, blanchissant et désodorisant, les solutions d'eau de Javel ont de nombreuses utilisations: la désinfection, le traitement des eaux, le traitement de la pâte à papier, les usages ménagers...

Le tableau suivant montre les propriétés physiques et chimiques de la solution:

Nom commercial	Eau de Javel
Degré chlorométrique	12°Chl
Formule brute	NaClO
Masse molaire	74,5g/mol
Température de fusion	18°C
Solubilité dans l'eau	293g/L à 0°C, 799g.L à 25°C

Le titre volumétrique en degré chlorométrique d'une eau de javel est le volume de dichlore, en litre, dans les conditions normale de température et de pression (CNTP), nécessaire pour fabriquer un litre d'eau de Javel.

L'eau de Javel est obtenue à partir de l'électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium :

- ✓ A la cathode, il se forme du dihydrogène et des ions hydroxyde.
- ✓ A l'anode, on obtient un dégagement de dichlore

La réaction s'écrit:



2. Préparation d'une solution d'hypochlorite de sodium de concentration molaire 0,536 mol.L⁻¹

D'après la réaction précédente, pour une mole d'ions hypochlorite, il faut une mole de dichlore c'est-à-dire 22,4L dans les CNTP.

La relation entre le titre volumétrique et la concentration C de la solution est donné par:
 $T^{\circ}Chl = 22,4 \times C$

Le titre volumétrique de la solution utilisée est 12°Chl.

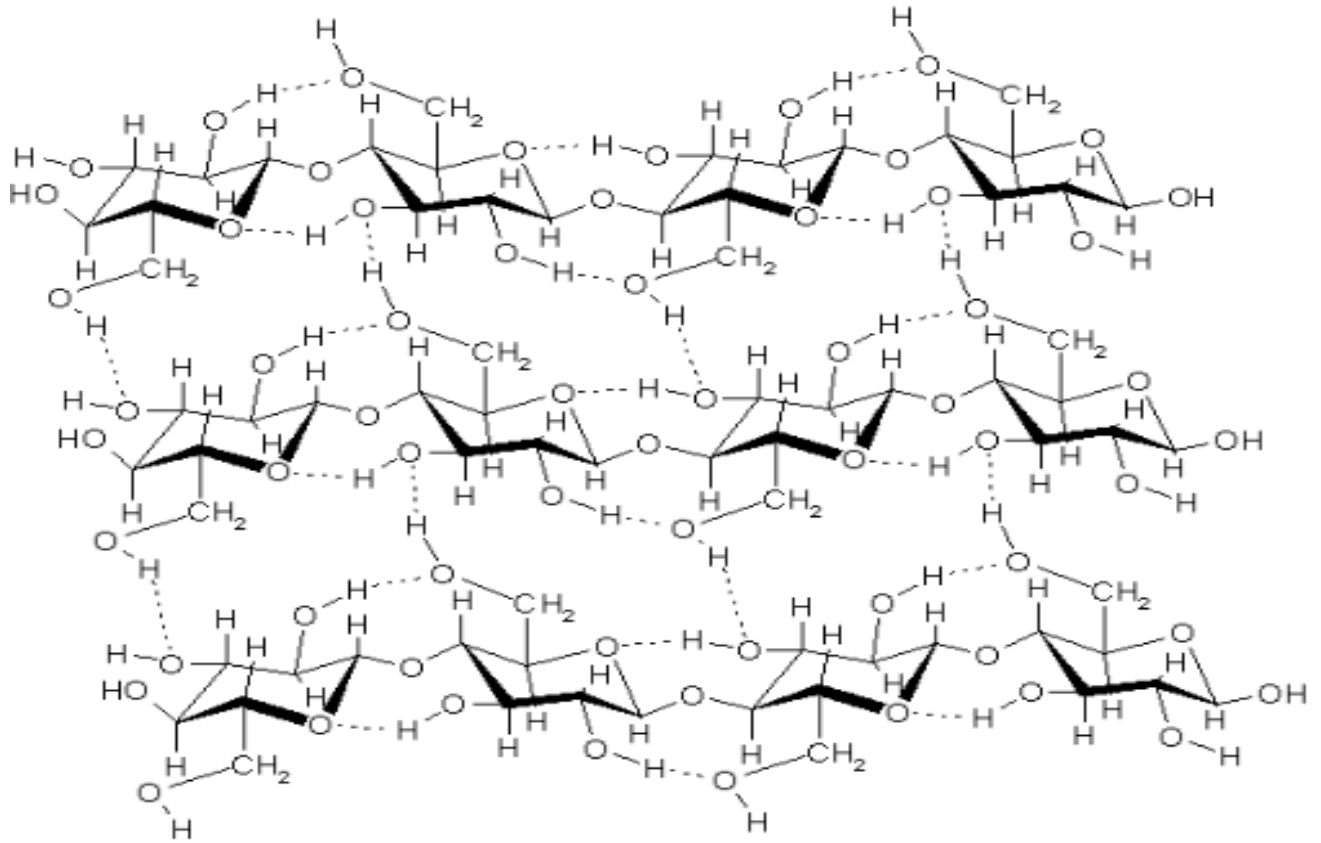
Alors le calcul de la concentration devient $C = \frac{T^{\circ}Chl}{22,4}$

D'où $C = \frac{12}{22,4} = 0,536 \text{ mol.L}^{-1}$

Annexe 4: Structure d'une cellulose

La cellulose est le matériau le plus important de la paroi des cellules végétales. La molécule de cellulose est un polymère de formule générale $(C_6H_{10}O_5)_n$ c'est-à-dire répétition de n fois de la molécule de glucose.

Voici un exemple de sa structure :



Titre : VALORISATION D'UNE PLANTE AQUATIQUE : LA JACINTHE D'EAU.

Nombre de pages : 41

Nombre de figures : 37

Nombre de tableaux : 03

Nom et prénoms : RASOLOARIMANANA Clément Jurias

Adresse : Tanambao SPM Maintirano

E-mail : rclementjurias@gmail.com

RESUME

Ce mémoire porte sur la valorisation d'une plante aquatique qui est la jacinthe d'eau. Cette valorisation a traité principalement la question de la fabrication de papier à partir des fibres de jacinthe d'eau.

Une étude bibliographique est menée dans la première partie de ce travail pour bien comprendre le sujet. Et à partir de cette étude, d'une part, la jacinthe d'eau a de nombreuses applications pratiques sur le plan économique surtout à Madagascar ; et d'autre part elle est connue comme source de fibre qui est l'élément de base même de la fabrication du papier.

Par ailleurs, la deuxième partie de notre étude concerne quelques expériences de fabrication de pâtes, notamment l'utilisation de l'écorce et de la fibre, la fibre toute seule et le mélange de la fibre avec du papier recyclé. La transformation de la jacinthe d'eau en papier est artisanale. Ce procédé consiste à mélanger la plante avec du papier recyclé en utilisant la méthode chimique. Pour cette méthode, la variation de la concentration de l'hydroxyde de sodium de $1,666 \text{ mol.L}^{-1}$ à $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ permet de modifier l'éclaircissement de la pâte à papier. De même, l'ajout d'une quantité croissante d'hypochlorite de sodium permet encore plus de blanchir la pâte et par conséquent, on obtient un papier assez clair de même aspect que le papier "antemoro".

Mots clés: jacinthe d'eau, fibres, pâte à papier, fabrication de papier artisanal, méthode chimique.

ABSTRACT

This research relates to the valorization of an aquatic plant which is the water hyacinth. This valorization treated mainly the question of the manufacturing of paper starting from fibers of water hyacinth. A bibliographical study is conducted in the first part of this work for understanding the subject well. And starting from this study, on the one hand, the water hyacinth has many practical applications on the economic plan especially to Madagascar; and in addition it is known as source of fiber which is the basic element even of the manufacturing of paper. In addition, the second part of our study relates to some experiments of manufacturing of pastes, in particular the use of the bark and fiber, the all alone fiber and the mixture of fiber with recycled paper. The transformation of the water hyacinth into paper is artisanal. This process consists in mixing the plant with paper recycled by using the chemical method. For this method, the variation of the concentration of the sodium hydroxide of $1,666 \text{ mol.L}^{-1}$ to $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ makes it possible to modify the aspect of the paper pulp. In the same way, the addition of an increasing quantity of sodium hypochlorite makes it possible even more to bleach the paste and consequently, one obtains a paper rather clearly of the same aspect than "antemoro" paper.

Keywords: hyacinth of water, fibers, pulp paper, manufacturing of artisanal paper, chemical method.

Encadreur : Monsieur ANDRIANAINARIVELO Mahandrimanana.

Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo